



[2016-9-WE-011]

현무암 석분의 첨가제 및 열처리에 따른 용융특성 분석

조성원¹⁾ · 김건기²⁾ · 김정현^{1)*}

Analysis of Melting Characteristics on use of Additive and Heat Treatment in Basalt Stone Dust

Seongwon Cho¹⁾ · Kunki Kim²⁾ · Junghyun Kim^{1)*}

Received 7 July 2016 Revised 3 August 2016 Accepted 3 August 2016

ABSTRACT The vitrification processes and characteristics of basalt stone dust were assessed for applications. X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) confirmed that basalt stone dust was comprised of most of the mineral types of Albite, Anorthite, Aegirine, Augite, and Quartz and minor mineral types of Diopside and Forsterite. XRF showed that the SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and CaO were mainly present in the basalt stone dust. XRD and observations of the pellet showed that the basalt stone dusts began to melt from 1200°C to higher temperature ranges. When Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) was added to the basalt stone dusts, however, the melting point (MP) of the basalt stone dust system was approximately 700°C , showing more than 500°C reduction. Therefore, it is necessary to add Borax to basalt stone dust for the purpose of recycling as glass and energy savings.

Key words Basalt stone dust (현무암 석분), Vitrification(유리화), Melting point(용융점), Glass(유리), Borax(보락스)

1. 서론

석분은 석재의 채취 및 가공하는 과정에서 미분형태로 존재할 뿐만 아니라 가공하는 과정에서 슬러지로 존재하게 된다. 이 과정에서 발생하는 대부분의 석분 슬러지는 매립되고 있으며 이로 인해서 매립으로 인한 환경오염과 야적으로 발생하는 주변의 오염 및 수질의 오염문제가 지속적으로 발생하고 있다.^[1-3] 이러한 석분슬러지는 처리에 상당한 비용이 소요되어 업체에 부담을 주고 있으며 생산업체 소유의 야적장 부족 및 넘비현상으로 인한 매립장 확보가

어렵기 때문에 대부분 적치되거나 무계획적으로 매립되고 있는 실정이다. 농지를 불법으로 점거하여 석분토 야적장으로 사용하다가 법적인 조치를 받게 되는 사례도 있으나 산업 규모가 영세한 이유로 사회적 주목을 받지 못하고 있다. 반면 석분을 재료로 사용하는 활용방안에 관한 연구는 매우 미흡한 편이다.

최근 기존 연구에서는 국내 3대 화강석 산지 중의 하나인 거창군 내에서 발생하는 화강석 석분 슬러지를 활용하여 Molten Carbonate Fuel Cell(MCFC)의 탈황흡착제의 지지체로 사용될 수 있는 모유리 제조 및 모유리의 유리화 과정에 대한 분석을 실시하였다.^[4] 기존 연구에서는 화강석에 포함되어 있는 고융점의 SiO_2 및 Al_2O_3 의 분해를 촉진하고 용융온도에 변화를 주기 위해 Borax($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)를 사용할 경우 열처리 온도별 형상관찰과 X선 회절 분석

1) Advanced Materials Engineering, Hanbat National University
E-mail: jhkim2011@hanbat.ac.kr
Tel: +82-42-821-1239 Fax: +82-42-821-1592

2) Geochang Granite Research Center

법(X-ray Diffraction Analysis, 이하 XRD) 실험결과와의 비교를 통해 Borax에 의해 화강석 석분 슬러지의 용융점이 400℃ 이상 감소함을 확인하였다. 이를 통하여 MCFC용 탈황흡착제의 지지체로 적용이 가능한 것을 파악하였다.^[4]

현무암을 가공하는 과정에서도 화강석과 동일하게 현무암 석재 가공 과정에서 발생하는 현무암 미분이 가공장비의 냉각수와 함께 현탁액으로 분출되어 슬러지화되고 있다. 현재 현무암 석분슬러지의 화강석 석분의 처리방법과 동일하게 환경처리업자에게 위탁처리되어 있으나 사업장에서의 불법 매립에 의한 문제가 발생하고 있다.^[5]

본 연구에서는 폐기물로 취급되는 제주 현무암 석분의 유리화 과정을 제시하여 현무암 석분의 자원 재활용가능성을 검토하기 위한 목적으로 제주 현무암 석분의 정량, 정성에 관한 특성 분석, 첨가제 배합에 의한 유리화를 포함한 용융 온도 변화 확인을 통하여 현무암 석분을 이용한 유리화 특성에 대해서 연구하였으며 동시에 기존에 보고된 화강석 유리화를 통한 결과와 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 시편 제작

거창화강석 연구센터에서 제공한 제주 현무암을 마노유발에 분쇄한 후 100 μ m 체거름을 실시하였다. 본 연구에 사용된 시편의 경우 Table 1에 나타나 있듯이 건조된 제주 현무암 석분은 RB-B-10(현무암 석분:Borax=100:0wt%)으로 명명하였으며 용융온도를 낮추기 위해 현무암 석분에 동량의 Borax를 포함한 시편을 RB-B-11(현무암 석분:Borax=50:50wt%)으로 표기하였다.

2.2 정량/정성분석

제주 현무암 석분을 구성하고 있는 산화물 성분의 정량 분석은 형광 X선 분석법(X-ray Fluorescence Analysis,

이하 XRF)을 사용하여 분석하였다. XRF 분석을 위해서 거창화강석 연구센터에서 제공한 제주 현무암을 마노유발에 분쇄한 후 100 μ m 체거름을 실시하였다. 현무암에 포함되어 있는 수분을 제거하기 위해서 분쇄한 현무암 석분을 100℃의 건조기에 6시간 건조한 후 XRF 측정 장비(제조사: Rigaku, 모델명: RIX 2100)를 이용하여 현무암에 존재하는 산화물 성분으로 질량비율을 측정하였다. 정성분석은 XRD 분석을 이용하여 실시하였으며 XRD 측정장비(제조사: Rigaku, 모델명: SmartLab)를 이용하여 가속전압 45kV, 전류 200mA, 주사속도 1°(2 θ)/min 및 주사범위 5~95°(2 θ)의 조건으로 분석하였다.

2.3 현무암 석분의 유리화 실험

현무암 석분의 유리화 실험에 사용된 시편은 RB-B-10 및 RB-B-11으로서 유리화 실험은 기존 문헌[4]에 제시한 방법과 동일하며 현무암 석분 분쇄 및 Borax 무게 칭량, 칭량 후 혼합, 알루미늄 크로스버 담지, 전기로에 장입 후 고온에서 2시간 샘플 용융, 샘플 회수를 위한 금속 지지체 전처리, 용융된 샘플을 회수하여 금속 지체 주입 및 냉각으로 구성되는 7단계로 실시하였다.

2.4 열처리 온도에 따른 형상 변화 및 XRD 결과분석

유리화 과정 중에 발생하는 시편의 형상변화와 XRD 패턴을 연구하기 위해서 현무암 석분의 유리화 실험은 현무암 석분(RB-B-10)과 Borax와 혼합된 현무암 석분(RB-B-11)을 이용하여 25mm $\times$ 6mm $\times$ 6mm 크기의 직사각형 금속 몰드를 이용하여 5MP의 압력으로 일축성형하였다. 일축성형한 이후의 시편은 Fig. 1에 제시되어 있다. 직사각형

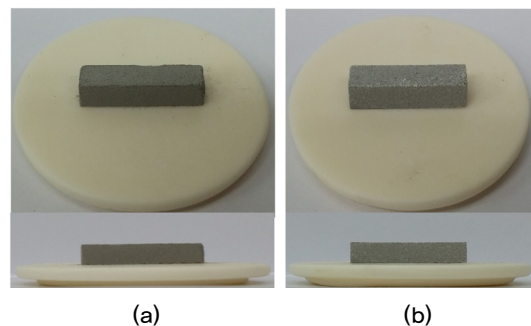


Fig. 1. Uniaxially pressed (a) RB-B-10 sample and (b) RB-B-11 sample

Table 1. Abbreviation of specimens

Composition	Mass ratio (wt %)	Abbreviation
현무암:Borax	100:0	RB-B-10
현무암:Borax	50:50	RB-B-11

의 형상 변화를 관찰하기 위해서 알루미늄 크로서를 덮개 위에 위치시킨 후 5°C/min의 속도로 승온하여 타겟온도에서 1시간 유지하였다. 열처리를 종료한 시편은 노냉 후 시편의 측면 및 좌우에서 사진 촬영을 실시하였다. 온도에 따른 XRD 결과를 확인하기 위해서 노냉을 마친 시편을 상온에서 마노유발을 이용하여 분쇄한 후 XRD 분석을 실시하였다.

2.5 열분석

유리화를 종료한 시편의 열적 특성을 분석하기 위해서 열중량분석(Thermogravimetric Analysis, TGA)과 시차주사 열량측정법(Differential Scanning Calorimeter, DSC)을 이용하였다. TGA 및 DSC 분석이 동시에 가능한 TGA-DSC 장비(제조사: Setaram, 모델명: Setsys 16/18)를 사용하여 30–1450°C 온도범위의 승온과 감온조건에서 10°C/min의 속도로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 현무암 석분의 정성 및 정량 분석

Fig. 2(a)에서 제주 현무암 석분의 XRD 결과를 정리하였으며 현무암 석분의 정성분석 비교를 위해서 광물의 형태로 존재하는 Albite, Diopside, Anorthite, Augite, Forsterite, Quartz, Aegirine을 XRD 픽을 Fig. 2(b)에 정리하였다.

구체적으로 Fig. 2(a)에서 17.0°, 36.2°, 55.8° 및 62.3°의 unknown phase를 제외하고 Fig. 2(a), (b) 및 Table 2

의 비교를 통하여 현무암 석분은 주로 Albite, Anorthite, Aegirine, Augite 및 Quartz로 구성되어 있는 것을 알 수 있으며 Diopside 및 Forsterite는 기존 광물에 포함되어

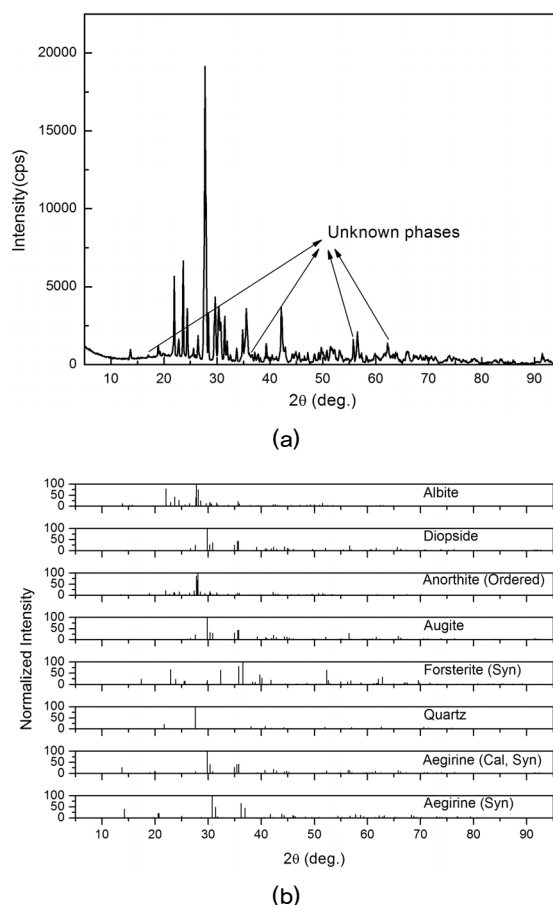


Fig. 2. X-ray diffraction (XRD) pattern of (a) basalt stone dusts and (b) reference data of Albite, Diopside, Anorthite, Augite, Forsterite, Quartz and Aegirine phase

Table 2. Qualitative analyses of the minerals constituting of the basalt stone dust

Phase	Formula	Figure of merit	DB card Number
Albite (syn)	$\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	1.417	01-071-1150
Diopside	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	1.653	01-072-1497
Anorthite (ordered)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	1.153	00-041-1486
Augite	$(\text{Mg}_{0.73}\text{Fe}_{0.23}\text{Al}_{0.02}\text{Ti}_{0.02})$ $(\text{Ca}_{0.83}\text{Na}_{0.02}\text{Mg}_{0.04}\text{Fe}_{0.11})$ $(\text{Si}_{1.92}\text{Al}_{0.08}\text{O}_6)$	1.545	01-073-8536
Forsterite (syn)	Mg_2SiO_4	1.892	01-078-1371
Quartz	SiO_2	2.840	01-086-1564
Aegirine (calcian, syn)	$(\text{Na}_{0.512}\text{Ca}_{0.488})\text{Fe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	1.705	01-075-8652
Aegirine (syn)	$\text{NaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	2.905	01-076-9064

있음을 알 수 있다. 참고로 본 연구에서 Aegirine의 경우 $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ 의 화학조성보다 $\text{Na}_{0.512}\text{Ca}_{0.488}\text{FeSi}_2\text{O}_6$ 가 정확한 조성(PDF card No.: 01-075-8652)으로 판단할 수 있다. 또한 본 연구팀에서 보고한 화강석의 XRD 결과와 비교할 경우 화강석의 8°에서 발견된 Mica ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$) 성분이 현무암 석분에서는 존재하지 않는 반면^[4] 현무암 석분에서는 Aegirine 광물이 발견되었다. 따라서 Mica 광물과 Aegirine 광물의 존재여부가 화강석과 현무암을 분류하는 기준인 것을 알 수 있다.

XRF분석을 통하여 건조된 제주 현무암 석분의 정량분석 결과는 Table 3에 정리했으며 이를 통하여 제주 현무암 석분의 포함되어 있는 광물의 경우 SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - CaO 계로 구성되어 있는 것을 알 수 있다.^[6-9] Table 3에서 정리된 XRF 결과를 통하여 SiO_2 가 약 47.2wt%로 가장 높은 질량비로 구성되어 있으며, 안정화제 산화물인 Al_2O_3 은 18.4wt%, CaO 의 경우에는 11.0wt%의 질량비를 구성하는 것을 확인 할 수 있다. Fe_2O_3 는 14.2wt%의 질량비로 구성되어 있는데, 이로 인해 현무암은 Fe_2O_3 을 함유하고 있는 Augite와 Aegirine에 의해서 검은색을 띠게 되는 것을 알 수 있다.

유리 형성제인 SiO_2 의 높은 용융온도를 저하시켜 용해를 촉진하는 역할을 하는 용융촉진제의 경우 Na_2O 가 2.73wt%, K_2O 가 1.20wt%의 질량비로 존재하고 있다. 추가적으로 기존에 발표된 거창 화강석 석분을 이용하여 현무암을 구

성하고 있는 광물의 구성 성분 및 구성 질량 비율에 대한 분석 또한 Table 3에서 확인 할 수 있다.^[4] 이를 비교하면 화강석 석분과 현무암 석분의 경우 SiO_2 의 성분에 있어서 가장 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

현무암 RB-B-10 성분의 SiO_2 는 앞에서 정리한 바와 같이 47.2wt%의 구성 질량 비율을 보이고 있으나 화강석 석분의 경우 67.0-69.6wt%의 SiO_2 로 구성되어 있다. 따라서 화강석에는 망목구성 산화물로 존재하는 SiO_2 가 상대적으로 높으므로 용융온도가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 반면 안정제 산화물의 역할을 하는 Al_2O_3 의 경우 현무암에서는 18.4wt%로 존재하며 화강석에서도 16.2-17.6wt%로 비슷한 질량비율로 존재하고 있다. 반면 Fe_2O_3 의 경우 현무암에서는 14.2wt%로 존재하고 있으나 화강석에서는 2.20-2.27wt%의 비율을 보이고 있다. 이는 현무암과 화강석의 색상차이에 따른 원인이 Fe_2O_3 의 유무로 설명할 수 있다.

현무암 성분에 Borax를 혼합한 시편(RB-B-11)의 XRF 분석 또한 Table 3에서 확인 할 수 있다. Table 3의 RB-B-10 및 RB-B-11 샘플의 경우 Borax의 첨가 비율이 증가할수록 유리 형성제인 SiO_2 의 질량비와 안정화제 산화물인 Al_2O_3 와 MgO 의 질량비는 감소하였다. Borax의 첨가로 인해 용융 촉진제인 Na_2O 의 질량비가 2.73wt%에서 12.9wt%로 크게 증가하여 용융 온도를 감소시킬 것으로 보인다.

3.2 현무암 석분의 형상변화 및 XRD 분석

Fig. 3은 제주 현무암 석분인 RB-B-10 시편을 500℃부터 1400℃의 온도구간을 설정하여 온도에 따른 형상변화를 관찰한 결과이다.

Borax를 첨가하지 않은 현무암 RB-B-10 시편에서는 500-1000℃까지의 실험에서 형상의 변화는 육안으로 확

Table 3. Analysis results of main chemical components of basalt stone dust (RB-B-10), mixture of borax and basalt stone dust (RB-B-11) and granite stone sludge by XRF (wt.%)

Components	RB-B-10	RB-B-11	Granite stone sludge ^[4]
SiO_2	47.2	42.3	67.0-69.6
Al_2O_3	18.4	16.8	16.2-17.6
Fe_2O_3	14.2	12.7	2.20-2.27
CaO	11.0	9.63	2.21-3.54
Na_2O	2.73	12.9	2.92-3.62
MgO	2.42	2.11	0.539-0.650
TiO_2	2.01	1.74	0.325-0.352
K_2O	1.20	1.02	4.37-4.59
P_2O_5	0.264	0.223	0.146-0.177
B_2O_3	-	-	-

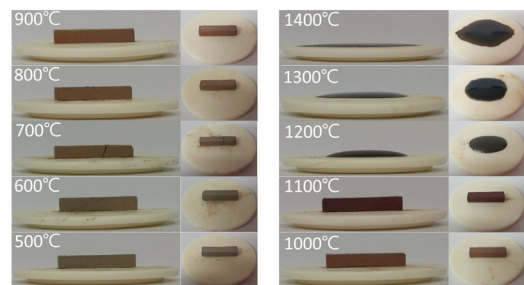


Fig. 3. Photograph results of RB-B-10 samples after heat treatment in temperature ranges of 500-1400℃

인 할 수 없다. 700°C의 실험부터 시편의 겉보기 색이 변화하여 1000°C까지는 점차 갈색을 띄었고 1100°C는 검붉은 색, 1200°C 이상에서는 검정색으로 나타났다.

이는 Fe_2O_3 의 산화작용에 의한 변화로 판단 할 수 있다. 1200°C부터 용융이 시작되어 형상의 변화가 나타났으며 1400°C에서는 알루미늄 플레이트에 완전하게 접촉되었다. 따라서 형상변화 실험 결과 제주 현무암 RB-B-10 시편에서는 1200°C에서 용융이 시작되는 것을 확인할 수 있다.

이러한 형상변화 실험을 통한 유리화 과정을 검증하기 위한 XRD 분석 결과를 Fig. 4에서 정리하였다. Fig. 2(a)에서 상온에서 측정된 시편의 XRD 패턴과 Fig. 4에서 500°C의 온도에서 측정된 XRD는 동일한 회절 패턴을 보여주고 있다. Fig. 4에서 정리한 600°C에서 열처리한 XRD 패턴의 경우 Albite의 18.9°의 픽 분리 및 55.7°에서의 픽의 merge 현상이 나타나지만 전체적인 XRD 패턴은 500°C의 경우와 동일하다. 이러한 경향성은 1100°C까지 동일한 것을 알 수 있다.

반면 1100°C에서 1200°C의 온도구간에 해당하는 XRD 패턴은 급격한 차이를 보이고 있다. 예를 들어서 1100°C 온도구간의 14°에서 발견되는 Albite의 XRD 픽이 1100°C 이상의 온도구간에서 감소했으며 1200°C의 열처리 온도상황에서 27.6°이하의 구간에서는 완전히 사라진 것을 알 수 있다. 반면 27.6°이상의 구간에서는 Albite로 판단되는 XRD 픽을 확인 할 수 있으나 그 강도는 상당히 낮아진 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 2(b)에서 정리한 광물의 XRD 픽 패턴과 Fig. 4의 온도별 Anorthite, Aegirine, Quartz 및 Diopside에

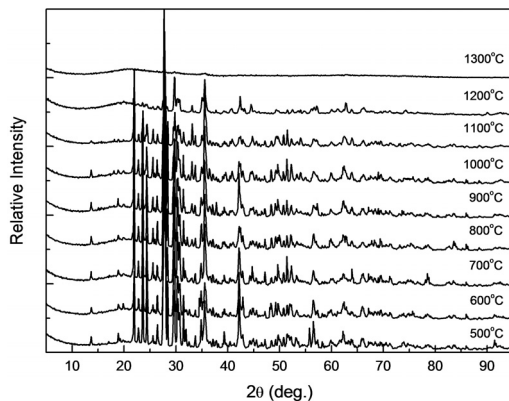


Fig. 4. XRD patterns of RB-B-10 samples after heat treatment in temperature ranges of 500–1300°C

해당되는 XRD 픽의 경우 회절 강도는 낮아졌으나 1200°C의 온도구간에서 아직 잔존하는 것을 확인 하였다. 1300°C의 온도구간에서는 이러한 회절 패턴이 모두 사라진 것을 알 수 있다.

따라서 첨가제를 포함하지 않은 현무암 시편(RB-B-10)에서는 1200°C부터 용융이 시작되는 것을 알 수 있다. 1300°C에서는 Albite, Quartz 및 Aegirine 픽이 완전히 사라졌으며 비정질 특유의 Broad한 XRD 패턴이 관찰되었다. 따라서 Fig. 3 및 4의 결과로 현무암의 용융은 1200°C에서 시작하는 것을 알 수 있다.

3.3 첨가제 사용에 따른 현무암 석분의 형상변화 및 XRD 분석

Fig. 5는 제주 현무암 석분과 동량의 Borax를 혼합한 RB-B-11시편의 열처리 후 측면 및 표면의 형상변화 보여 준다. 500°C와 600°C에서는 Borax의 분해과정 중 탈 결정수 과정과 가스발생에 의한 부스러기의 흠어짐이 관찰되었다.

600°C 시편에서 모서리가 뭉개지는 현상을 관찰할 수 있고 온도가 증가할수록 짙은 검정색을 띄었다. 700°C시편부터는 용융현상이 발생하여 1100°C시편에서는 용융된 시편이 플레이트의 옆면으로 흘러내렸다. 따라서 형상관찰로부터 700°C에서 용융이 시작되는 것을 관찰할 수 있다. 이는 Fig. 6의 XRD 패턴에서도 확인할 수 있다. 14°에서 Albite의 XRD 픽이 700°C에서 확연히 감소한 것을 알 수 있다. 800°C에서는 전반적으로 회절강도가 낮아져 유리화가 진행된 것을 알 수 있고, 900°C실험에서는 비정질 특유의 Broad한 XRD 패턴이 관찰되었다.

따라서 Fig. 3과 Fig. 5에서 정리한 RB-B-10 시편과

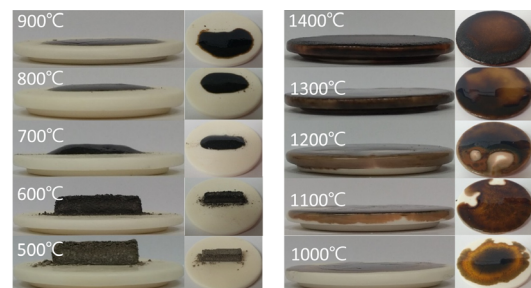


Fig. 5. Photograph results of RB-B-11 samples after heat treatment in temperature ranges of 500–1400°C

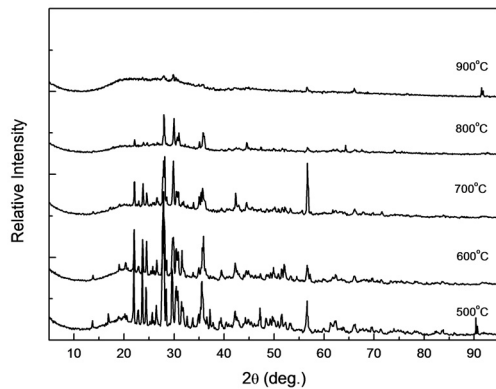


Fig. 6. XRD patterns of RB-B-11 samples after heat treatment in temperature ranges of 500–900°C

RB-B-11 시편의 형상변화를 비교한 결과에서 RB-B-10은 1200°C에서 용융현상으로 인한 유리화가 진행되었음을 알 수 있고, RB-B-11의 시편의 경우 700°C에서 용융현상이 시작하여 유리화가 진행된 것을 알 수 있다. 이러한 용융온도의 감소는 Borax에 의한 것으로서 1200°C의 유리화 용융 온도를 700°C로 약 500°C 가량 낮춘 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 4 및 Fig. 6에서 정리한 두 시편의 XRD 패턴 비교에서도 알 수 있다.

3.4 현무암 석분과 인위적으로 제작한 현무암 석분의 특성 비교

본 결과를 이용하여 기존에 발표된 인위적으로 제작된 현무암 시편과 비교하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

기존 문헌인 Fig. 4(b) 및 인위적으로 제작한 현무암 BB10 시편(Fig. 6(b))^[4]과 Fig. 2의 제주 현무암 RB-B-10시편의 온도별 열처리 후 측면 및 표면의 형상을 비교할 경우 전반적으로 비슷한 유리화 거동을 보인다. 1200°C의 실험에서 두 시편 모두 용융이 되기 시작하였다. 또한 기존 문헌 Fig. 4(b)인 인위적으로 제작한 현무암^[4]과 Fig. 4에서 정리한 RB-B-10 시편에서 확인 할 수 있는 제주 현무암의 온도별 XRD 분석 결과를 비교할 경우 제주 현무암은 14°에 존재하는 Albite 픽이 감소되어 유리화가 시작되는 것을 확인 하였으나 기존 발표한 인위적으로 제작한 현무암은 8°부근의 Mica 픽의 감소로 유리화 시작을 확인할 수 있다.^[4] 반면 본 연구에서 제시한 Fig. 4에서 제시된 1300°C에서 제주 현무암의 XRD 픽이 더 Broad한 것을 확인할 수 있는데 이는 용제성분이 많은 Aegirine이 먼저 분해되어 용제

로서 작용했기 때문이라고 생각된다.

기존 문헌 Fig. 6(d)에서 정리한 인위적으로 제작한 현무암 BB11시편과^[4] Fig. 5에서 정리한 제주 현무암 RB-B-11시편의 온도별 열처리 후 측면 및 표면의 형상변화를 비교할 경우 전반적으로 동일한 용융현상을 확인 할 수 있으나 500°C의 시편에서 색의 차이를 볼 수 있는데, 이는 착색제로 작용하는 Fe가 제주 현무암 석분에서는 Aegirine의 형태로 존재하고, 제작 현무암에서는 Fe₂O₃를 직접 첨가하였기 때문에 제주 현무암에 비해 더 빠른 색변화를 나타낸 것으로 보인다.

마지막으로 기존 문헌의 Fig. 5(b)인 인위적으로 제작한 현무암 BB11시편과^[4] Fig. 6에서 확인한 제주 현무암 RB-B-11시편의 XRD 패턴변화 비교 결과에서 700°C부터 픽의 회절강도가 확연히 감소하였고 900°C에서는 비정질 특유의 Broad한 픽을 볼 수 있다. 제주 현무암에서는 열처리 온도가 증가할수록 Albite, Aegirine 및 Quartz의 픽이 우선적으로 소멸되는 현상을 보이고, 인위적으로 제작한 현무암 시편에서는 낮은 회절 강도를 보이는 Albite의 픽이 먼저 소멸되는 현상이 관찰 되었다.

3.5 유리화된 현무암의 열분석 특성

Fig. 7은 RB-B-11 조성의 시편을 1300°C에서 유리화를 실시한 이후의 분쇄과정을 거쳐 확인 한 TGA/DSC 결과를 나타내고 있다. 승온과정에서 상온부터 1200°C의 온도 구간에서는 특별한 무게 변화가 발생하지 않고 있다. 반면 1200°C에서 1450°C의 온도 구간에서는 약 2.8wt%의 무게 감소현상이 발생하게 된다. 1200°C에서 무게 감소 시

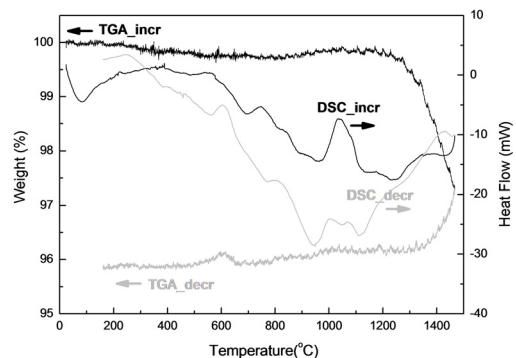


Fig. 7. TGA/DSC results of glassified RB-B-11 composition after heat treating of 1300°C with increasing and decreasing temperature under air condition

작점에서는 DSC 픽으로부터 약한 흡열 반응을 확인 하였으며 이는 RB-B-11에 포함되어 있는 Na_2O 및 K_2O 으로 대표되는 알칼리 산화물의 휘발 현상으로 무게가 감소하기 때문으로 판단할 수 있다.^[10] 감온시의 TGA 결과에서는 1450℃에서 1300℃의 온도 구간에서 약 1wt%의 무게 감소가 발생하게 되며 1300℃이하의 감온구간에서는 더 이상의 급격한 무게 변화는 보이지 않는다.

4. 결 론

본 연구는 제주 현무암 석분의 유리화 과정을 제시하여 현무암 석분의 자원 재활용가능성을 검토하기 위한 목적으로 용융 온도 변화 확인을 통하여 현무암 석분을 이용한 유리화 특성에 대해서 연구하였다.

제주 현무암 석분은 Albite, Anorthite, Aegirine 및 Quartz의 주요 구성성분에 Diopside 및 Forsterite가 포함되어 있다. 제주 현무암 석분의 펠렛화를 통한 형상 변화의 경우(RB-B-10시편) 1200℃에서 유리화가 진행되었으며 Borax와 동량 혼합한 시편(RB-B-11시편)의 경우 700℃에서 유리화가 진행되었다. 따라서 1200℃의 유리화 온도를 700℃로 약 500℃ 가량 감온이 가능하기 때문에 제주 현무암을 유리로 재활용하기 위해서는 제주 현무암 석분에 반드시 Borax를 혼합하는 것이 필요하다. 또한 인위적으로 제작한 현무암 석분과 제주 현무암 석분의 유리화 과정을 온도별 형상 변화와 XRD 패턴을 통해 비교할 경우 인위적으로 제작한 현무암 BB10시편과 제주 현무암 RB-B-10시편의 유리화 온도가 1200℃로 비슷한 것을 알 수 있었고, 인위적으로 제작한 현무암 BB11시편과 제주 현무암 RB-B-11시편의 비교를 통해 두 시편 모두 Borax의 영향으로 인해 유리화 온도가 약 500℃ 가량 감온된 것을 알 수 있었다. 이를 통해 인위적으로 제작한 현무암의 유리화 거동과 제주 현무암의 유리화 거동이 흡사한 것을 알 수 있었다.

Acknowledgment

본 연구는 2014년도 (제) 거창화강석연구센터의 지원을 받아 수행한 연구과제(용역계약명: 석분슬러지 광물자원화

연구개발, 세부사업명: 세라믹 섬유 재료 기술 개발)입니다. 이에 감사 드립니다.

References

- [1] Park H.J., Park S.M., Lee J.W., Roh G.C., Kim J.K., 2010, "Studies of the melting characterization of basalt and its continuous fiber spinning", *Compo. Res.*, 23(3), 43-49.
- [2] Nam, J.M., Yun, J.M., Kim, G.Y., 2005, "A Study on Suitability of Powdered Basalt Sludge for Liner", *J. Korea Soc. Waste Manag.*, 22(5), 464-471.
- [3] Chae Y.S., Min I.K., Song G.Y., 2009, "A Study on the Concrete Compressive Strength Characteristics mixing Stone Dust Produced by Stone Block Manufacturing", *J. Korean Inst. Resour. Recyc.*, 18(6), 46-53.
- [4] Cho S.W., Kim K.K., Kim J.H., 2016, "Analysis of Vitrification Processes and Characteristics of Geochang Granite Stone Sludge for Desulfurization Sorbent of MCFC", *New and Renewable Energy*, 12(2), 3-11.
- [5] Kim K.Y., 2006, "A study on the application of powdered basalt sludge in construction engineering and its special characteristic", Ph. D. Dissertation, Jeju National University, South Korea.
- [6] Gomes V., De Borja C.D.G., Riella H.G., 2002, "Production and characterization of glass ceramics from steelwork slag", *J. Mater. Sci.*, 37(12), 2581-2585.
- [7] Gu S.I., Shin H.S., Hong Y.W., Yeo D.H., Kim J.H., Nahm S., 2010, "The Strength of Material with the Amount and the Particle Size of Glass on Anorthite System for LTCC", *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, 23(11), 864-868.
- [8] Liu H.Q., Wei G.X., Liang Y., Dong F.Y., 2011, "Glass-ceramics made from arc-melting slag of waste incineration fly ash", *J. Cent. S. Univ. Technol.*, 18(6), 1945-1952.
- [9] Fredericci C., Zanotto E.D., Ziemath E.C., 2000, "Crystallization mechanism and properties of a blast furnace slag glass", *J. Non-Cryst. Solids*, 273(1-3), 64-75.
- [10] Park C.Y., Park Y.S., Shin I.H., Jeong Y.J., Iizumi S., 1998, "Quantitative Analysis of the Major Elements in Igneous Rocks by X-ray Fluorescence Spectrometer", *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 19(2), 182-193.